



## اثر دمای هوای ورودی و میزان مالتودکسترین بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی پودر شیر خرمای خشک شده به روش پاششی

خشایار سرابندی<sup>۱\*</sup>، علیرضا صادقی ماهونک<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
 ۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱، تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۴)

### چکیده

در این مطالعه، اثر نسبت‌های وزنی مالتودکسترین، به‌عنوان حامل و عامل خشک کردن، به شیر خرمای (۳۰:۷۰، ۴۰:۶۰، ۵۰:۵۰ و ۶۰:۴۰) و دمای هوای ورودی (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰°C) بر آزمون‌های بازده تولید پودر، ویژگی‌های پودرهای به‌دست آمده یعنی مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده و ضربه، انحلال‌پذیری، نم‌پذیری و قابلیت جذب رطوبت، رفتار جریان‌پذیری مانند شاخص تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز و در نهایت، ویژگی‌های ریزساختاری پودرها با میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار هوای اتمایزر به‌ترتیب در ۱۵ ml/min، ۱۸۰۰۰ rpm و ۳۰±۱°C و ۴/۲±۰/۱ بار ثابت نگه داشته شدند. حداقل اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در کم‌تر از P<0/05 با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه گردید. نتایج، نشان دهنده بهبود بازیابی محصول با بیش‌ترین بازده: ۵۰/۸۲٪، با افزایش نسبت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی از نسبت ۷۰:۳۰ حامل به شیر خرمای در ۱۴۰°C تا ۵۰:۵۰ در ۱۶۰°C، بود. مقدار رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌های پودر به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر غلظت حامل و دمای هوای ورودی قرار داشت و مقدار رطوبت و فعالیت آبی به‌ترتیب از ۱/۲۸ تا ۳/۲۴٪ و ۰/۱۶۵ تا ۰/۲۳۱ متغیر بودند. دانسیته توده و ضربه و شاخص‌های جریان‌پذیری (جریان‌پذیری بالاتر) پودرها با افزایش نسبت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی کاهش یافت، اما قابلیت جذب رطوبت نمونه‌ها به‌ترتیب به‌طور فزاینده و کاهنده‌ای تحت تاثیر دمای خشک کردن و نسبت حامل قرار گرفت. از سوی دیگر، حلالیت پودرها به‌طور فزاینده تحت تاثیر دمای هوای ورودی و نسبت مالتودکسترین قرار گرفت. بهترین شرایط فراوری برای دستیابی به بالاترین بازده تولید، جریان‌پذیری آزاد و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی قابل قبول برای پودر شیر خرمای به‌وسیله خشک کردن پاششی: دمای هوای ورودی ۱۶۰°C و نسبت مالتودکسترین به شیر خرمای ۵۰:۵۰ بودند. همچنین، تصاویر الکترونی روبشی پودرهای شیر خرمای نشان دادند، هنگامی که غلظت‌های کافی از مالتودکسترین (مقادیر بیش از نسبت ۷۰:۳۰) استفاده گردید، ذرات پودر تولید شده به‌نسبت کروی و از سطوح صافی برخوردار بودند، اما مقداری ذرات پودر با اشکال نامنظم و چروکیدگی‌هایی در سطوح مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: خشک کن پاششی، خواص فیزیکی شیمیایی، ریزساختار، شیر خرمای، مالتودکسترین.

## 1- مقدمه

وزن، بسته‌بندی، حمل و نقل و ماندگاری بهتر، از روش خشک کردن پاششی برای تبدیل انواع عصاره‌ها، شربت‌ها و آبمیوه‌ها به پودر استفاده می‌شود [8]. یکی از مزایای این روش، سرعت بالای آن می‌باشد، که به دلیل زمان بسیار کوتاه فرایند خشک شدن (عمدتاً 10-2 ثانیه)، ارزش تغذیه‌ای و کیفیت محصول تا حدود زیادی حفظ می‌شود [9]. این ویژگی سبب کاربرد گسترده این فرایند، برای خشک کردن و میکروانکپسولاسیون<sup>1</sup> ترکیبات حساس به حرارت در صنایع غذایی و داروسازی شده است [10-12].

از آنجایی که بخش عمده‌ای از ماده جامد کنسانتره، سیروپ و آبمیوه‌ها (حدود 90٪) را قندهایی با وزن مولکولی پایین مانند فروکتوز، گلوکز و ساکارز، و اسیدهای آلی هم‌چون سیتریک، تارتاریک و مالیک تشکیل می‌دهند، با دارا بودن دمای انتقال شیشه‌ای پایین، جزو محصولات چسبنده طبقه‌بندی و خشک کردن این ترکیبات با این روش بسیار دشوار می‌باشد [13-15]. چسبیدن این ترکیبات به جداره‌های خشک‌کن در طول فرایند موجب کاهش راندمان تولید محصول، کاهش کیفیت و در نتیجه باقی ماندن محصول درون خشک‌کن و سوختن آن، و ضررهای اقتصادی فراوانی می‌شود [15]. شیره خرما نیز مانند عسل و کنسانتره‌ها، منبع غنی از انواع قندها بوده و در عمل خشک کردن پاششی و تبدیل آن به پودر برخلاف محصولات غیرچسبنده مانند شیر و تخم‌مرغ، در شرایط عادی، امکان‌پذیر نمی‌باشد.

یکی از اصلاحات اعمال شده جهت کاهش چسبندگی این محصولات، استفاده از ترکیبات کمک خشک‌کن با وزن مولکولی بالا مانند صمغ عربی، انواع نشاسته و مشتقات آن مانند مالتودکسترین و انواع هیدروکلئیدها است [16-18]. هر یک از ترکیبات حامل، دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. لکن به‌طور کلی، مالتودکسترین با حلالیت بالا، ویسکوزیته پایین، قیمت کم، طعم و آرومای خنثی، ماده دیواره مناسب برای حفاظت از ترکیبات حساس به اکسیداسیون، از طریق تسهیل فرایند خشک کردن پاششی، بیش‌ترین کاربرد را در بین سایر حامل‌ها دارد [17، 19].

از کاربردهای مالتودکسترین برای خشک کردن پاششی آبمیوه و کنسانتره‌ها می‌توان به عصاره گوشت میوه کاکتوس

تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص ترکیب و ارزش تغذیه‌ای خرما انجام گرفته است. میوه خرما به علت دارا بودن مقادیر بالای کربوهیدرات (70-80٪) به‌طور عمده فروکتوز و گلوکز، منبع خوبی از انرژی می‌باشد. هم‌چنین، این محصول حاوی فیبر رژیمی تقریباً در دامنه 6/4 تا 12/7 (درصد ماده خشک)، چربی (0/2-0/5 درصد)، پروتئین (2/3-5/6 درصد)، املاح مانند کلسیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، منگنز، فسفر، سیلیسیوم و گوگرد و ویتامین‌ها مانند ویتامین ث، ب<sup>1</sup>، ب<sup>2</sup>، آ، ریوفلاوین و نیاسین می‌باشد [1-4].

ایران با تولید سالانه 1066000 تن خرما (14٪ تولید جهانی) پس از مصر با 1470000 تن (17٪ تولید جهانی)، رتبه دوم تولید جهانی خرما را به خود اختصاص داده است [5]. افزایش تولید خرما، با افزایش قابل ملاحظه ضایعات، در مراحل برداشت، بسته‌بندی، نگهداری، حمل و نقل و فراوری همراه بوده است. در نتیجه، حجم بالایی از خرما تولید شده به علت افت کیفیت و نامناسب بودن برای مصارف خانگی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. این مسائل، ضررهای اقتصادی فراوانی برای تولیدکنندگان در پی دارد. خرماهای ضایعاتی اغلب برای تولید محصولات جانبی (مانند عسل، قندمایع، شراب، سرکه، مربا و شربت خرما) [6] و یا در ایران برای تولید خمیر خرما به‌عنوان مغزی در تهیه برخی محصولات قنادی مانند کلوچه‌های سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از ضایعات فراوری میوه خرما نیز به دلیل غنی بودن از ترکیبات مغذی، می‌توان برای تولید محصولات یا افزودنی در فرمولاسیون‌های غذایی استفاده نمود. به‌طور مثال در تحقیقی، تریگروس و همکاران [7]، از آب بلانچینگ خرما برای بازسازی پودر شیر در تولید ماست استفاده کردند.

شیره خرما یکی از محصولات جانبی با ارزش خرما محسوب می‌شود [6]. این محصول که به‌طور عمده از خرما درجه دو و سه تولید می‌شود، غنی از قندهای طبیعی مانند فروکتوز و گلوکز بوده و بخش عمده‌ای از ترکیبات مغذی خرما را دارا می‌باشد.

اما جهت افزایش پایداری شیمیایی و میکروبی، سهولت استفاده به‌عنوان افزودنی، استاندارد کردن، کاهش حجم یا

مدت 6 ساعت قبل از فرایند خشک کردن پاششی نگه‌داری شدند.

## 2-2- فرایند خشک کردن پاششی

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای 1 متر و ارتفاع کل محفظه 2 متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر 3 لیتر مایع در ساعت با فشار 1 bar برای ارسال خوراک به نازل است. فرایند پاشش توسط اتمایزر چرخشی با قطر 5 cm و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، صورت گرفت. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار اتمایزر با استفاده از نتایج حاصل از آزمون و خطاهای انجام گرفته به ترتیب در 18000 rpm، 15 ml/min،  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  و  $4/2 \pm 0/1$  بار ثابت نگه داشته شدند. دمای هوای ورودی و مقدار مالتودکسترین مورد استفاده در تهیه خوراک‌ها، متغیرهای فرایند بودند. بدین ترتیب که از هوای ورودی با دمای (140، 160 و  $180^\circ\text{C}$ ) و به صورت هم جهت با خوراک‌های از قبل تهیه شده برای خشک کردن استفاده گردید. از مالتودکسترین در نسبت‌های 30:70، 40:60، 50:50 و 60:40 به وزن شیره خرما به عنوان حامل جهت تهیه خوراک استفاده گردید. پودر حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفته و سپس در شیشه‌های تیره و دور از نور تا زمان انجام آزمایشات نگه‌داری گردید. آب مقطر به مدت 10 دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

## 2-3- بازده تولید پودر

بازده تولید محصول به صورت نسبت وزن پودر به دست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) محاسبه گردید. در این مطالعه، پودر جمع‌آوری شده در شیشه انتهایی دستگاه به عنوان محصول اصلی جهت محاسبه بازده فرایند و انجام آزمون‌های پودر مورد استفاده قرار گرفت.

پودر سسی سویا (DE=20) [21]، عصاره مالت (DE=20) [22]، آب هندوانه [23]، آب چغندر قند (DE=12) [24]، اشاره نمود. گولا و آداموپولوس [26]، پودر پالپ گوجه‌فرنگی را با استفاده از هوای رطوبت‌گیری شده و مالتودکسترین با معادل دکستروز 6، 12 و 21 به عنوان حامل تولید نمودند. هم‌چنین شرستا و همکاران [25] نیز خشک کردن پاششی آب پرتقال را با مقادیر مختلف مالتودکسترین به عنوان حامل انجام دادند و نتایج حاکی بهبود بازده تولید پودر و کاهش چسبندگی محصول با افزایش غلظت حامل بود. این ترکیبات با افزایش دمای انتقال شیشه‌ای کل مخلوط [17] و هم‌چنین تشکیل یک لایه فیلم از حامل غیرچسبنده در اطراف قطرات/ذرات متمیزه شده موجب کاهش چسبیدن مواد به جداره‌های خشک‌کن و در نتیجه افزایش بازده تولید پودر با جریان‌پذیری بیش‌تر می‌شوند [15، 26].

هدف از این مطالعه، ارزیابی تاثیر دمای هوای ورودی و نسبت‌های وزنی متفاوت مالتودکسترین به عنوان حامل بر بازده تولید پودر، خواص فیزیکی و عملکردی محصول، هم‌چنین شاخص‌های جریان‌پذیری یعنی زاویه استاتیک ریپوز، نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری پودرهای تولیدی بود. هم‌چنین اثر شرایط فرایند بر ساختار سطحی ذرات نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- تهیه محلول خوراک

برای تولید هر کدام از تیمارها، حامل‌های مالتودکسترین با DE=18-20 (پوران پودر سپاهان، اصفهان، ایران) در نسبت‌های 30:70، 40:60، 50:50 و 60:40 درصد وزنی/وزنی براساس وزن مرطوب شیره خرما (دمباز، بندرعباس، ایران) رقیق شده با آب مقطر تا بریکس 40، مورد استفاده قرار گرفتند. بدین صورت که، هر یک از حامل‌ها به صورت مجزا در آب مقطر در دمای محیط و با استفاده از همزن مغناطیسی (L-81؛ لابینکویوی، هلند) حل، سپس با شیره خرما مخلوط، به گونه‌ای که برای تمام تیمارها، محلول خوراک با ماده جامد کل 35٪ بر اساس وزن خشک تهیه شد. خوراک‌های حاصل جهت انحلال کامل ترکیبات حامل و تولید محلولی شفاف، به

## 4-2- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی 12 میلی‌متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید [27].

پیوستگی پودرها با نسبت هاسنر (HR) قابل محاسبه می‌باشد (معادله 2). مقادیر رابطه تجربی بین ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها و نتایج حاصل از دو آزمون زاویه ریپوز و نسبت هاسنر بر اساس تحقیقات جیناپونگ و همکاران، به ترتیب از 25-30 و 1-1/11 برای جریان‌پذیری عالی و بیش از 66 و 1/6 بری جریان‌پذیری بسیار بد (عدم جریان‌پذیری آزاد) بیان شده است [28].

$$HR = \frac{TD}{BD} \quad (2)$$

در این فرمول HR (نسبت هاسنر)، TD (دانسیته توده حاصل از ضربه<sup>1</sup>)، BD (دانسیته توده) می‌باشند.

مقدار شاخص تراکم‌پذیری را می‌توان از رابطه 3 و با استفاده از نسبت هاسنر محاسبه نمود [28]. مقادیر موجود در جدول (1) برای ارزیابی ارتباط رفتار جریان‌پذیری پودرها با شاخص تراکم‌پذیری ارائه شده است.

$$CI = 1 - (1/HR) \quad (3)$$

## 7-2- اندازه‌گیری شاخص‌های انحلال‌پذیری و نم‌پذیری

سنجش انحلال‌پذیری پودرهای شیره خرما با استفاده از روش کانو و همکاران [29]، با کمی اصلاحات انجام گرفت. بدین صورت که، 1 گرم پودر به دقت به 100 ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی در 700 rpm به مدت 4 min اضافه گردید. محلول حاصل در 3000 xg برای 4 min سانتریفوژ شد. حجم 25 ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آن 105°C به مدت 5 ساعت خشک گردید. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب درصد جهت تعیین مقدار انحلال‌پذیری در آب به کار رفت.

برای تعیین نم‌پذیری پودرها نیز از روش فوجس و همکاران، با کمی اصلاحات استفاده شد. 0/2 گرم پودر در دمای محیط

حدود 2 گرم پودر در یک پتری دیش به مدت 2-3 ساعت در یک آون در دمای (105±2°C) قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرایند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت از طریق معادله 1 محاسبه گردید [26].

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100 \quad (1)$$

که در آن M درصد رطوبت، W<sub>1</sub> وزن ظرف خالی، W<sub>2</sub> مجموع وزن پودر و ظرف و W<sub>3</sub> مجموع وزن پودر خشک شده و ظرف بعد از آون‌گذاری می‌باشند. فعالیت آبی پودرهای شیره خرما نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی (Hygropalm+Rotronic، آلمان) تعیین شد. دستگاه یک ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها، جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون، محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر، سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای محیط 30 ± 0/5 °C اندازه‌گیری شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار و میانگین آن‌ها گزارش گردید.

## 5-2- دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از ضربه

دانسیته توده با افزودن تدریجی 2 گرم پودر شیره خرما به استوانه مدرج (10 ml) با درجه‌بندی 0/1 ml و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به صورت (گرم بر میلی لیتر) محاسبه گردید. سپس با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین 400 ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه به دست آمد [26].

## 6-2- جریان‌پذیری (زاویه استاتیک ریپوز، شاخص تراکم‌پذیری<sup>1</sup> و نسبت هاسنر<sup>2</sup>)

مقدار 10 گرم پودر شیره خرما با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0/001 گرم (ساتوریوس، مدل BM 150، آلمان) توزین

1. Compressibility  
2. Hausner ratio

1. Tapped density

**جدول (1)** ارزیابی ویژگی و جریان پذیری پودرها با استفاده از شاخص تراکم پذیری [28]

شاخص تراکم پذیری	نوع جریان	نوع پودر
$0/05 < I_c < 0/15$	عالی	گرانولی، درشت (ماسه‌ای)
$0/15 < I_c < 0/18$	خوب	پودر بدون ذرات نرم و فیبری
$0/18 < I_c < 0/22$	ضعیف	پودر با اندکی ذرات نرم و فشردگی بالای بخشی از ذرات
$0/22 < I_c < 0/35$	بد	پودر با ذرات نرم
$0/35 < I_c < 0/40$	خیلی بد	پودر چسبنده (پیوستگی بالا)
$I_c > 0/40$	غیر قابل قبول	پودر بسیار چسبنده

بر سطح 100 ml آب مقطر بدون هم‌زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته نشست ذرات از سطح آب به طوری که هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نهم‌پذیری ثبت گردید.

نسبت‌های حامل به کار رفته بروی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت بررسی معنی‌دار بودن اثر متغیرها در ( $P < 0/05$ ) مشخص گردید. جدول شماره (2) نیز تجزیه واریانس اثر متغیرهای این مطالعه بر ویژگی‌های مورد بررسی پودرهای شیره خرما رو نشان می‌دهد.

## 8-2- میزان جذب رطوبت

قابلیت جذب رطوبت پودرها به شکل مقدار رطوبت (گرم) آب جذب شده توسط 100 گرم پودر) طی 7 روز نگهداری در دمای محیط  $30^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی  $\text{RH} = 75\%$  در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین گردید [16].

## 9-2- میکروسکوپ الکترونی روبشی

ساختار ذرات پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Pemteron PS-230، کره جنوبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها به‌طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دو سویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از لایه نازکی از طلا انجام شد. در نهایت هر نمونه پوشش دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت [16].

## 10-2- تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش حاضر متغیرهای دمای هوای فرایند (سه سطح) و نسبت وزنی مالتودکسترین به شیره خرما (چهار سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و در سه تکرار مورد مطالعه قرار و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس و استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه 19 مورد ارزیابی قرار گرفتند تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند و اثر دما و

## 3- نتایج و بحث

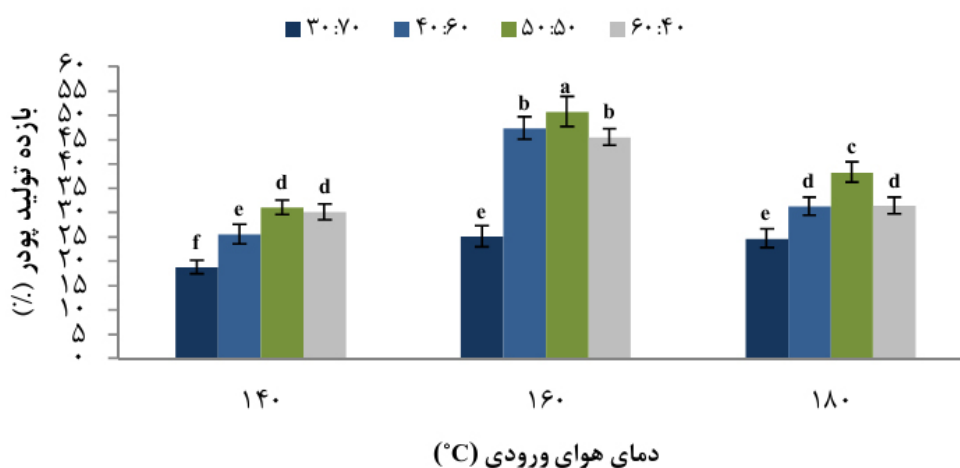
### 3-1- بازده تولید پودر

بازده تولید پودر یکی از اصلی‌ترین شاخص‌ها و بیانگر میزان اقتصادی بودن، کارایی و هم‌چنین درصد موفقیت آمیز بودن فرایند است. شکل (1)، تاثیر دمای هوای ورودی و غلظت حامل را بر راندمان تولید پودر شیره خرما نشان می‌دهد. در آزمون و خطاهای اولیه انجام گرفته، هیچ پودری با نسبت‌های کم‌تر از 30 به 70 حامل به شیره خرما در دماهای مختلف مورد نظر تولید نشد که این به‌طور مشخصی نشان دهنده ناکافی بودن میزان حامل در کاهش چسبندگی و تولید پودر است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش دما از 140 به  $160^{\circ}\text{C}$  به میزان قابل توجهی تولید پودر در هر نسبتی از حامل به کار رفته افزایش یافت ( $P < 0/05$ ). این نتیجه، عمدتاً به دلیل تاثیر افزایش ضریب انتقال هم‌زمان جرم و حرارت بر کارایی فرایند خشک شدن قطرات اتمیزه شده، تشکیل لایه خشک اولیه در سطح ذرات قبل از رسیدن به جداره خشک کن و چسبیدن قطرات مرطوب و نیمه مرطوب، در نتیجه کاهش بازده تولید است. این یافته موافق با نتایج حاصل از تحقیقات مظفر و کومار [31]، سانتالاکشمی و همکاران [16]، فضائی و همکاران [32] و تانن و همکاران [33] بوده که به ترتیب اثر دما بر بازده تولید پودر پالپ تمبر هندی، پودر آب میوه جامون

**جدول (2)** تجزیه واریانس اثر متغیرهای دمای هوای ورودی و نسبت مالتودکسترین، هم‌چنین اثر متقابل این دو فاکتور بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر شیره خرما

فاکتور p	فاکتور F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع
0/000	41/308	0/43	13	5/593 <sup>a</sup>	مدل
0/000	31442/318	327/493	1	327/493	ثابت
0/000	121/228	1/263	2	2/525	دما
0/000	90/058	0/938	4	3/725	غلظت
0/571	0/831	0/009	7	0/061	دما * غلظت
		0/01	28	0/292	خطا
			42	331/446	کل

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .927)



**شکل (1)** اثر نسبت‌های وزنی مختلف حامل به شیره (30 به 70 الی 60 به 40) و دمای هوای ورودی بر بازده تولید پودر شیره خرما. مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح  $P < 0/05$  می‌باشند.

[15]. هم‌چنین این یافته مطابق با نتیجه حاصل از تحقیق ندیم و همکاران [34] و پاپاداکیس و همکاران [35] است که به ترتیب، اثر افزایش دمای هوای ورودی بر کاهش بازده تولید پودر عصاره مریم‌گلی و آب انگور سیاه را مشاهده نمودند. از سوی دیگر در کلیه دماهای مورد بررسی، افزایش نسبت وزنی حامل مورد استفاده به شیره از نسبت 70:30 به 50:50 منجر به بهبود چشمگیر تولید پودر و کارایی فرایند شد. این امر عمدتاً به علت نقش و عملکرد مالتودکسترین به‌عنوان یک کمک خشک‌کن از طریق افزایش دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) کل مخلوط، هم‌چنین ایجاد یک لایه و فیلم نازک غیرچسبنده

(نوعی شاه توت هندی)، آب توت سیاه و پالپ آکایی را بررسی کردند. به استثنای نسبت حامل به شیره 30 به 70، در سایر موارد با افزایش دمای هوای ورودی از 160 به 180 °C به‌طور مشخصی از مقدار تولید پودر کاسته شد ( $P < 0/05$ ). این امر نیز احتمالاً به دلیل افزایش دمای سطح قطرات 10-30 درجه سانتی‌گراد بیش از دمای انتقال شیشه‌ای، سطح قطرات حالت چسبنده پیدا می‌کنند که با برخورد با هر سطحی نظیر دیواره خشک‌کن یا دیگر ذرات (چسبنده یا خشک)، بسته به سرعت، نیرو، زاویه و زمان تماس، ممکن است منجر به چسبیدن ذرات شود

دسترس برای تبخیر است [31]. در دماهای بالاتر به دلیل اثر غالب دمای هوای ورودی بر رطوبت پودرهای خروجی، اثر افزایش غلظت حامل در خوراک و پودر نهایی مشاهده نشد. عوامل اصلی که بیشترین تاثیر را بر میزان رطوبت دارند، غلظت ماده جامد و دبی خوراک می‌باشند. با افزایش غلظت ماده جامد و دبی خوراک میزان رطوبت پودرهای حاصل به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد [33، 35].

فعالیت آبی پودرهای شیره خرما نیز، بین 0/231 تا 0/165 متغیر بود. مشابه نتایج حاصل از رطوبت، افزایش دما از طریق تسریع سرعت خروج رطوبت و غلظت مالتودکسترین به دلیل خاصیت آبدوستی موجب کاهش فعالیت آبی نمونه‌ها گردید. این میزان از فعالیت آبی در نمونه‌ها (مقادیر فعالیت آبی کم‌تر از 0/6)، نشان‌دهنده پایداری میکروبیولوژیکی مناسب پودرهای شیره خرما و قابلیت حفظ و انبارمانی طولانی مدت آن‌ها در شرایط بسته‌بندی و نگهداری مناسب است [16، 18].

### 3-3- دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از ضربه

دلایل اقتصادی و عملگرایی موجب افزایش اهمیت دانسیته به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی گردیده است. دانسیته توده ذرات همان‌گونه که در جدول (3)، مشاهده می‌شود، بین 0/59 تا 0/76 متغیر بود. به استثناء پودرهای حاصل از نسبت 30 به 70 حامل به شیره که احتمالاً به دلیل چسبیدن نسبت بیش‌تری از ذرات، ایجاد تخلخل و فضاهای بین آن‌ها که موجب کاهش دانسیته توده و توده حاصل از ضربه پودرها گردید، در سایر تیمارها، افزایش دمای هوای ورودی اثر معنی‌داری بر دانسیته توده پودرها نشان نداد ( $P < 0/05$ ). اگرچه تحقیقات متعددی بیان‌کننده اثر افزایش دمای هوای ورودی بر افزایش تخلخل، کاهش چروکیدگی و در نهایت کاهش دانسیته توده پودرها هستند. از این تحقیقات می‌توان به نتایج حاصل از تحقیقات بازاریا و کومار [36]، پیغمبردوست و سرابندی [22] و شریستا و همکاران [25] است که به ترتیب، تاثیر افزایش دما بر دانسیته پودرهای کنسانتره چغندر قند، عصاره مالت و آب پرتقال را مورد بررسی قرار دادند.

از سوی دیگر افزایش غلظت مالتودکسترین به شیرهاز نسبت 40:60 به 60 به 40 در دمای ثابت موجب کاهش دانسیته توده

اطراف قطرات/ذرات در حین خشک شدن است که با کاهش چسبندگی، موجب افزایش بازده تولید پودر می‌شود. این یافته منطبق است با نتایج حاصل از تحقیقات ندیم و همکاران [34]، گولا و آداموپولوس [17] و کوئک و همکاران [18]، که به ترتیب اثر افزایش غلظت مالتودکسترین بر تولید پودر عصاره مریم‌گلی، کنسانتره پرتقال و آب هندوانه را بررسی کردند.

اما افزایش نسبت مالتودکسترین به شیره از 50:50 به 40:60 اثر منفی بر بازده تولید پودر از خود نشان داد. این نتیجه، احتمالاً به دلیل اثر افزایش غلظت حامل بر ویسکوزیته خوراک، هم‌چنین ویسکوزیته سطح قطرات به مقدار بحرانی ( $10^7$  pa.s) و ایجاد حالت خمیری در جداره خشک کن است. این نتیجه با یافته‌های مظفر و کومار [31] و تانن و همکاران [33] که به ترتیب کاهش بازده تولید پودر تمبر هندی و پالپ آکایی را با افزایش غلظت ایزوله پروتئین سویا و مالتودکسترین مشاهده نمودند، مطابقت دارد.

### 3-2- رطوبت و فعالیت آبی

دمای هوای ورودی، غلظت حامل و سرعت جریان خوراک از جمله عوامل موثر بر رطوبت پودرهای حاصل از خشک کردن پاششی محصولات مختلف می‌باشند [31، 33]. در این تحقیق، همان‌گونه که در جدول (3)، مشاهده می‌شود، رطوبت پودرهای شیره خرما به مقدار قابل توجهی تحت تاثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین قرار دارد ( $P < 0/05$ ). به این ترتیب که، با افزایش دمای هوای ورودی به علت افزایش اختلاف دمای بین قطرات اتمیزه شده خوراک و محیط خشک کن، در نتیجه افزایش سرعت خروج رطوبت از سطح ذرات، رطوبت پودرهای حاصل کاهش می‌یابد. مظفر و کومار [31]، باترل و همکاران [19]، گولا و آداموپولوس [17] و کوئک و همکاران [18] نیز به ترتیب، کاهش رطوبت پودرهای تمبر هندی، اسانس پونه کوهی، کنسانتره آب پرتقال و آب هندوانه را با افزایش دمای فرایند نشان دادند.

هم‌چنین، در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  با افزایش نسبت حامل به شیره از 30 به 70 تا 50 به 50، مقدار رطوبت پودرهای حاصل به تدریج کاهش یافت ( $P < 0/05$ ). این نتیجه احتمالاً به دلیل افزایش میزان ماده جامد خوراک و کاهش رطوبت آزاد و در

**جدول (3)** تاثیر نسبت‌های مختلف مالتودکسترین و دمای هوای ورودی بر خواص فیزیکی شیمیایی و جریان پذیری پودر شیره خرما

نسبت وزنی حامل به شیره	دما (°C)	رطوبت (%)	فعالیت آبی	نم پذیری (ثابته)	دانسیته توده (g/ml)	دانسیته ضربه (g/ml)	هاسنر	تراکم پذیری	ریپوز (درجه)
30:70	140	3/24±0/11 <sup>a</sup>	0/231±0/002 <sup>a</sup>	1/1±0/06 <sup>d</sup>	0/6±0/01 <sup>e</sup>	0/78±0/03 <sup>ef</sup>	1/3±0/03 <sup>a</sup>	0/23±0/02 <sup>a</sup>	42/7±1/5 <sup>a</sup>
160	160	2/92±0/18 <sup>b</sup>	0/206±0/002 <sup>c</sup>	1/07±0/06 <sup>d</sup>	0/59±0/03 <sup>e</sup>	0/75±0/02 <sup>fg</sup>	1/27±0/04 <sup>ab</sup>	0/21±0/02 <sup>ab</sup>	40/6±1/15 <sup>a</sup>
180	180	2/45±0/12 <sup>cd</sup>	0/189±0/002 <sup>d</sup>	1/04±0/05	0/59±0/02 <sup>e</sup>	0/74±0/02 <sup>g</sup>	1/25±0/03 <sup>bc</sup>	0/2±0/01 <sup>bc</sup>	38/3±1/5 <sup>b</sup>
40:60	140	2/82±0/11 <sup>b</sup>	0/212±0/002 <sup>b</sup>	1/47±0/3 <sup>d</sup>	0/76±0/02 <sup>a</sup>	0/94±0/02 <sup>a</sup>	1/24±0/02 <sup>bc</sup>	0/2±0/01 <sup>bc</sup>	37/7±2/1 <sup>b</sup>
160	160	2/79±0/06 <sup>b</sup>	0/204±0/003 <sup>c</sup>	1/43±0/2 <sup>d</sup>	0/75±0/03 <sup>ab</sup>	0/87±0/02 <sup>b</sup>	1/16±0/03 <sup>d</sup>	0/14±0/02 <sup>d</sup>	33/3±3/1 <sup>cd</sup>
180	180	2/39±0/07 <sup>de</sup>	0/182±0/001 <sup>e</sup>	1/38±0/03 <sup>d</sup>	0/72±0/03 <sup>abc</sup>	0/83±0/02 <sup>cd</sup>	1/15±0/02 <sup>d</sup>	0/13±0/02 <sup>d</sup>	31/6±1/5 <sup>ef</sup>
50:50	140	2/52±0/11 <sup>cd</sup>	0/204±0/001 <sup>c</sup>	3/37±0/5 <sup>a</sup>	0/73±0/02 <sup>ab</sup>	0/85±0/01 <sup>bc</sup>	1/16±0/01 <sup>d</sup>	0/14±0/01 <sup>d</sup>	34/3±2/1 <sup>cd</sup>
160	160	2/28±0/07 <sup>ef</sup>	0/193±0/003 <sup>d</sup>	2/59±0/5 <sup>c</sup>	0/71±0/01 <sup>bcd</sup>	0/82±0/01 <sup>cde</sup>	1/15±0/02 <sup>d</sup>	0/13±0/01 <sup>d</sup>	31/7±1/5 <sup>cd</sup>
180	180	1/89±0/08 <sup>g</sup>	0/172±0/001 <sup>f</sup>	2/68±0/4 <sup>bc</sup>	0/68±0/02 <sup>cd</sup>	0/77±0/02 <sup>fg</sup>	1/13±0/02 <sup>d</sup>	0/12±0/01 <sup>d</sup>	29/5±1/6 <sup>f</sup>
60:40	140	2/6±0/04 <sup>c</sup>	0/207±0/004 <sup>c</sup>	3/13±0/2 <sup>ab</sup>	0/68±0/02 <sup>cd</sup>	0/82±0/01 <sup>cde</sup>	1/14±0/04 <sup>d</sup>	0/17±0/02 <sup>c</sup>	33/3±1/52 <sup>cd</sup>
160	160	2/21±0/03 <sup>f</sup>	0/183±0/002 <sup>e</sup>	2/56±0/1 <sup>c</sup>	0/67±0/01 <sup>d</sup>	0/81±0/03 <sup>de</sup>	1/2±0/03 <sup>c</sup>	0/17±0/02 <sup>c</sup>	32/7±2/1 <sup>cd</sup>
180	180	1/68±0/07 <sup>h</sup>	0/165±0/003 <sup>g</sup>	2/6±0/3 <sup>c</sup>	0/6±0/01 <sup>e</sup>	0/74±0/03 <sup>g</sup>	1/2±0/03 <sup>c</sup>	0/17±0/01 <sup>c</sup>	35/1±2/0 <sup>bc</sup>

مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در  $P < 0/05$  می‌باشند.

شامل ذرات ریز به‌طور قابل ملاحظه‌ای دانسیته توده ضربه‌ای بیش‌تر و تخلخل کم‌تری نسبت به آن‌هایی که فاقد ذرات ریز هستند از خود نشان می‌دهند. این اثر، احتمالاً به دلیل اشغال منافذ موجود میان ذرات درشت توسط ذرات ریز می‌باشد. این یافته موافق با نتایج فرناندز و همکاران [37] و تانن و همکاران [33] بود.

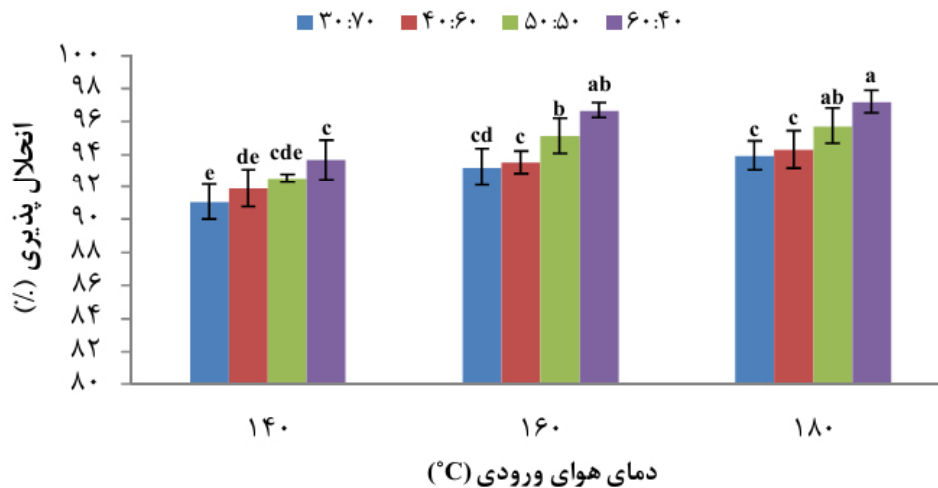
### 3-4- انحلال پذیری و نم‌پذیری

حلالیت پودر یک ویژگی عملکردی مهم پودرهای غذایی می‌باشد که بر رفتار پودر، زمانی که در آب بازسازی می‌شود، اثر می‌گذارد. این ویژگی از نظر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان از اهمیت خاصی برخوردار است [38]. نتایج ارائه شده در شکل (2)، نشان‌دهنده اثر افزایش دما در نسبت ثابت حامل (از 140 به 180°C) و همچنین اثر افزایش غلظت حامل در دمای ثابت از نسبت 30:70 حامل به شیره به 60 به 40 آن در بهبود و افزایش حلالیت پودرهای شیره خرما است ( $P < 0/05$ ). عواملی نظیر اندازه، شکل، ترکیب، ویژگی‌های سطحی، ریزساختار ذره و حضور افزودنی‌ها و ترکیبات نامحلول، نوع و ترکیب ماده اولیه، نوع خوراک (غلظت ماده جامد)، شرایط خشک کردن (دمای مورد استفاده، سرعت جریان هوای ورودی، فشار و دور

پودرهای تولید شده گشت. این نتیجه به‌طور عمده به دلیل اثر حامل‌های مختلف نظیر مالتودکسترین و کنسانتره پروتئین آب پنیر در کاهش چسبیدن ذرات به یکدیگر، تشکیل پوسته، افزایش تخلخل و هوای به دام افتاده درون ذرات است که موجب کاهش دانسیته ذرات می‌گردد [36].

دانسیته ضربه نیز یک عامل و شاخص بسیار مهم مرتبط با ویژگی‌های بسته‌بندی، حمل و نقل و تعیین‌کننده میزان ماده مورد نیاز برای پرکردن حجم خاصی از بسته می‌باشد [37]. بدیهی است پودرهایی با دانسیته بالاتر برای نگهداری نیازمند بسته‌بندی کوچک‌تری نسبت به پودرهای با دانسیته کم‌تر هستند. دانسیته توده حاصل از ضربه پودرهای شیره خرما نیز در مواردی همانند دانسیته توده تحت تاثیر غلظت حامل و دمای هوای ورودی قرار گرفت. از جمله این تغییرات می‌توان به کاهش دانسیته ضربه پودرها در دمای ثابت از نسبت وزنی 40 به 60 حامل به شیره به 60 به 40 آن تحت تاثیر افزایش غلظت حامل، همچنین کاهش این شاخص در نسبت‌های بالایی از حامل (50:50 و بیش‌تر) با افزایش دمای هوای فرایند از 140 به 180°C اشاره نمود ( $P < 0/05$ ). این یافته، به‌طور عمده به دلیل اثر شرایط فرایند بر تولید پودرهایی با توزیع اندازه ذرات گسترده و تخلخل متفاوت است. توده‌های





شکل (2) اثر نسبت‌های وزنی مختلف حامل به شیره (30 به 70 الی 60 به 40) و دمای هوای ورودی بر میزان انحلال‌پذیری پودر شیره خرما. مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح  $P < 0/05$  می‌باشند.

است که به‌طور مستقیم تحت تاثیر واکنش‌های مولکولی بین دو فاز قرار می‌گیرد [41]. در این تحقیق، زمان مورد نیاز برای نم‌پذیری ذرات از 1 تا 3/37 ثانیه متغیر بود (جدول 3). این مقادیر نشان دهنده فوری بودن فرایند نم‌پذیری در پودرهای شیره خرما تولید شده با مالتودکسترین است. این یافته موافق با یافته‌های سانتالاکشمی و همکاران [16] است که کاهش مدت زمان نم‌پذیری پودر آب میوه جامون را تحت تاثیر افزایش دمای هوای ورودی مشاهده کردند. آن‌ها علت این نتیجه را افزایش اندازه و فضاهای بین ذرات و متعاقب آن تسهیل نفوذ رطوبت به ساختار پودرها بیان کردند.

در تحقیق صورت گرفته توسط باترل و همکاران [19] اثر جایگزینی و نوع ماده دیواره بر خواص فیزیکی شیمیایی روغن ماهی ریزپوشانی شده به روش پاششی بررسی گردید. افزایش جایگزینی ایزوله پروتئین آب پنیر با اینولین از طریق کاهش روغن سطحی ذرات موجب بهبود نم‌پذیری گردید. در بیان علت، میزان این شاخص وابسته به نوع ماده حامل و گروه‌های هیدروفیل موجود در آن، تعامل و واکنش این گروه‌ها با آب گزارش شد.

در مورد اثر نوع ماده دیواره هم‌چنین می‌توان به تحقیق صورت گرفته توسط فرناندز و همکاران [37]، اشاره کرد. آن‌ها اثر حامل‌های مختلف بر نم‌پذیری اسانس رزماری کپسوله شده

تمایزر)، می‌توانند در قابلیت بازسازی پودرها بسیار موثر باشند [14].

مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح  $P < 0/05$  می‌باشند. نتایج حاصل از این تحقیق موافق با یافته‌هایی است که اثر افزایش دما (سانتالاکشمی و همکاران [16]، والتون و همکاران [39]) و غلظت حامل (ویدوویچ و همکاران [40]، ندیم و همکاران [34]، گولا و آدامپولوس [26]) بر بهبود حلالیت پودرهای مورد مطالعه را مشاهده کردند.

هم‌چنین، وانگ و ژو [21]، اثر سلولز، مالتودکسترین، نشاسته مومی و مخلوط آن‌ها را بر حلالیت پودرهای سس سویا خشک شده به روش پاششی بررسی کردند. نتایج حاکی از بیش‌ترین میزان حلالیت (97/9٪) پودرهای تولید شده با مالتودکسترین بود که پس از افزودن نشاسته مومی و یا میکروکریستال‌های سلولز، حلالیت به حدود 80٪ کاهش یافت. اما از سوی دیگر، کوئک و همکاران [18] و کانو و همکاران [29] به‌ترتیب اثر کاهش حلالیت پودرهای آب هندوانه و انبه را تحت تاثیر افزایش دما و غلظت مالتودکسترین مشاهده کردند.

نم‌پذیری یا قابلیت جذب آب ذرات/کپسول‌ها یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکی مرتبط با ویژگی‌های بازسازی پودرها

180°C نشان دهنده جریان پذیری بسیار مناسب این تیمار است. به لحاظ آماری نیز، نمونه‌های تولید شده در نسبت‌های حامل به شیره 40 به 60 و 50:50 در دمای 180°C بهترین جریان پذیری را بر اساس زاویه ریپوز از خود نشان دادند ( $P < 0/05$ ).

یافته فوق با نتایج حاصل از تحقیق سرابندی و پیغمبردوست [42] موافق است که افزایش جریان پذیری پودر عصاره مالت را تحت تاثیر افزایش غلظت مالتودکسترین، دمای هوای ورودی و اندازه ذرات در برخی از تیمارهای تولید شده مشاهده کردند. اثر افزایش غلظت حامل از طریق افزایش ویسکوزیته و اندازه ذرات تولیدی، کاهش سطح تماس، اتصالات، واکنش‌ها و چسبیدن ذرات مجاور موجب بهبود جریان پذیری پودرها می‌شود [43]. از سوی دیگر، افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل از طریق کاهش رطوبت پودرها نیز در بهبود جریان پذیری نقش ایفا می‌کنند [28].

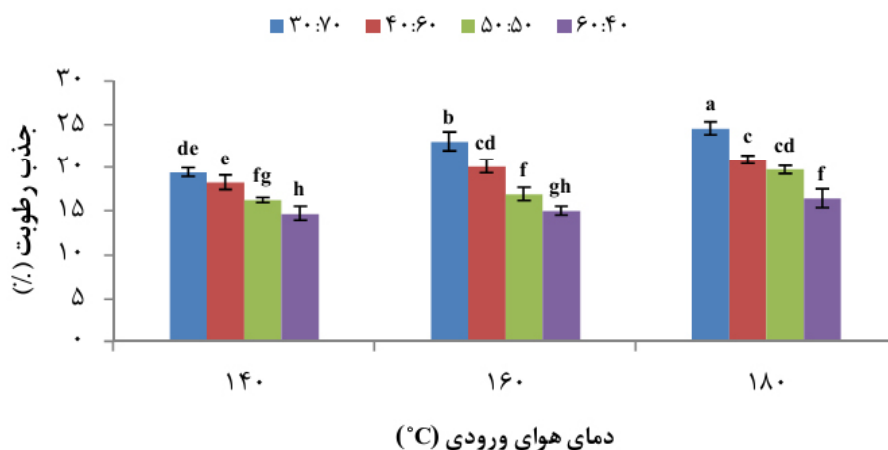
### 3-6- قابلیت جذب رطوبت

آنالیز واریانس پودرهای شیره خرما حاکی از تاثیر معنی‌دار افزایش نسبت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی بر مقدار جذب رطوبت نمونه‌ها است (شکل 3). به این شکل که در کلیه دماها، با افزایش نسبت وزنی حامل به شیره از 30:70 به 60:40، به شدت از مقدار جذب رطوبت پودرها کاسته شد. اما افزایش دمای هوای ورودی از 140 به 180°C در نسبت ثابت حامل

توسط خشک کردن پاششی مورد بررسی قرار دادند و مقدار نم‌پذیری پودرها بین 84 تا 307 ثانیه متغیر بود. در این تحقیق نیز، اینولین موجب بهبود نم‌پذیری پودرها گشت. به این صورت که جایگزینی ایزوله پروتئین آب پنیر با مالتودکسترین یا اینولین موجب کاهش زمان نم‌پذیری به ترتیب از 226 به 130 و 112 ثانیه گردید.

### 3-5- شاخص‌های جریان پذیری (شاخص تراکم پذیری، نسبت هاسنر، زاویه ریپوز)

پیوستگی و تراکم‌پذیری پودرهای شیره خرما در این تحقیق به ترتیب بین 1/132 تا 1/304 و 0/116 الی 0/233 متغیر بودند (جدول 3). به این شکل که پودرهای تولید شده در نسبت وزنی 30 به 70 حامل به شیره خرما در دمای 140°C (به استثنای مقادیر این نسبت در دمای 160°C) بیش‌ترین میزان پیوستگی و تراکم‌پذیری را در مقایسه با سایر تیمارها از خود نشان دادند ( $P < 0/05$ ). بر طبق مقادیر استاندارد ارائه شده در جدول (1) و تحقیقات جیناپونگ و همکاران [28]، از لحاظ شاخص‌های پیوستگی و تراکم‌پذیری، نمونه‌های تولیدی با نسبت‌های هاسنر و تراکم‌پذیری به ترتیب کم‌تر از 1/18 و 0/18 از جریان‌پذیری خوبی برخوردارند. بر اساس مقادیر ارائه شده در جدول استاندارد، مقدار زاویه ریپوز به دست آمده از تیمار تولید شده با نسبت 50:50 حامل به شیره در دمای



شکل (3) اثر نسبت‌های وزنی مختلف حامل به شیره (30 به 70 الی 60 به 40) و دمای هوای ورودی بر میزان قابلیت جذب رطوبت پودر شیره خرما. مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح  $P < 0/05$  می‌باشند.

در دماهای 140 و 160°C به غلظتی از حامل با قابلیت تولید کم‌ترین و بیش‌ترین بازده تولید پودر، و دما با بالاترین اثر در خواص فیزیکی پودر جهت ارزیابی ساختار سطحی ذرات انتخاب شدند. شکل (4) (الف تا د)، نشان دهنده ساختار ذرات پودر شیره خرما (انواع اشکال کروی، نامنظم و چروکیده) تولید شده در شرایط یاد شده است. همان‌گونه که نتایج آزمون‌های این تحقیق نشان داد، بررسی ساختار پودرهای تولید شده در نسبت 70:30 حامل به شیره در دمای 140°C نیز بیانگر پیوستگی بالا، ساختار چسبنده و عدم تفکیک ذرات مجزا، جداره ناسالم و ناصاف، همراه با شکاف و منافذ در جداره کپسول‌ها است که بیان‌کننده کارایی پایین این غلظت از حامل در تولید پودر شیره خرما با خواص فیزیکی شیمیایی مطلوب و جریان‌پذیری مناسب است.

ذرات پودر دارای دیواره نسبتاً یکنواخت، فاقد ترک و شکستگی در جداره (شکل‌های ب و ج)، مربوط به تیمار تولید شده با نسبت حامل به شیره 50:50 در دمای 140°C است. این ساختار نسبت به شکل الف، نشان دهنده تاثیر قابل ملاحظه افزایش نسبت حامل در تولید ذراتی با ساختاری مجزا، یکنواخت‌تر، سالم‌تر و دارای سطوح نسبتاً صاف با چروکیدگی کم در دمای یکسان است. تصویر میکروسکوپ الکترونی از تیمار 50:50 حامل به شیره در دمای 160°C نیز نشان دهنده ذراتی با سطوح صاف‌تر و چروکیدگی کم‌تر نسبت به غلظت مشابه در دمای 140°C است. این عمدتاً به دلیل تاثیر افزایش دمای هوای خشک کردن بر سرعت تبخیر رطوبت و تشکیل پوسته می‌باشد که تولید دیواره‌ای با سطح کروی‌تر نموده و دمای بالاتر، فرصت کم‌تری برای چروکیدگی شدن به جداره ذرات می‌دهد [45]. اگرچه تولید ذرات با سطوح چروکیده و نامنظم، یک پدیده معمول در خشک کردن پاششی محصولات مختلف است که عمدتاً به دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح قطرات در مراحل اولیه خشک کردن رخ می‌دهد [46]. این یافته‌ها موافق با نتایج حاصل از ارزیابی پودر سس سویا [21] و پالپ تمبر هندی [43] تولید شده در غلظت‌های مختلف حامل است.

#### 4- نتیجه‌گیری

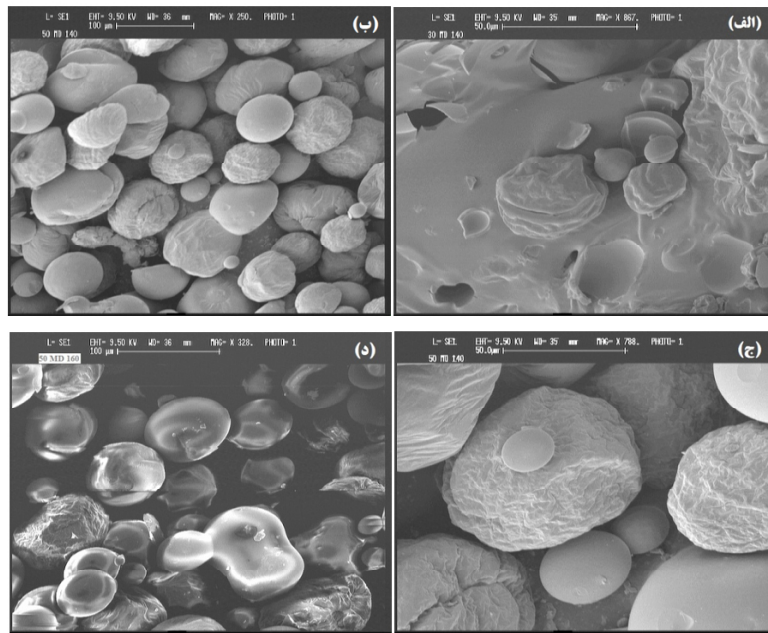
مالتودکسترین با دارا بودن مزایای بالایی (از قبیل حلالیت

به شیره بر میزان این شاخص تاثیر معکوس به همراه داشت ( $P < 0/05$ ). نتایج حاصل از این تحقیق با یافته بازاریا و کومار [36]، سانتالاکشمی و همکاران [16]، رودریگز و همکاران [44] که اثر دما و حامل، هم‌چنین، بوساری و همکاران [43] و تانن و همکاران [33] که اثر حامل را به ترتیب بر قابلیت جذب رطوبت پودرهای آب چغندر قند، آب میوه جامون، کاکتوس، پالپ تمبر هندی و آب میوه آکایی بررسی کردند، مطابقت دارد. اثر افزایش دمای هوای ورودی نیز بر کاهش رطوبت پودرهای حاصل، از طریق افزایش اختلاف رطوبت بین ماده و محیط اطراف موجب بیش‌تر شدن این شاخص می‌شود [36]. قابلیت جذب رطوبت یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده قابلیت حفظ، پایداری و زمان ماندگاری پودرهای خشک شده به روش پاششی در شرایط نامطلوب بسته‌بندی و نگهداری است. رطوبت تاثیر بسیار منفی بر خواص فیزیکی شیمیایی، جریان‌پذیری و پایداری پودرهای غذایی دارد. به‌طور مثال، جذب آب در پودرهای حاوی روغن‌های فرار، اسانس‌ها و ترکیبات حساس کپسوله شده، موجب افزایش شدت و سرعت اکسیداسیون و در نتیجه کاهش عمر ماندگاری این ترکیبات را به همراه خواهد داشت [19]. میزان جذب رطوبت از محیط به شدت وابسته به ترکیب ماده و دمای انتقال شیشه‌ای آن است [36]. به‌طور مثال، پودرهای آب میوه‌ها و شربت‌ها به دلیل دارا بودن انواع اسیدها و قندهای با وزن مولکولی پائین از دمای انتقال شیشه‌ای پائین و قابلیت جذب رطوبت بالایی برخوردارند. راه حل کاهش این چالش، به کارگیری حامل‌های مختلف با قابلیت تشکیل فیلم یا پوسته غیر چسبنده و با قابلیت جذب رطوبت پایین است [14].

در نهایت، ویدوویچ و همکاران [40]، اثر غلظت‌های مختلف مالتودکسترین 10، 30 و 50٪ بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر عصاره چای کوهی را بررسی کردند. میزان جذب رطوبت پس از یک هفته نگهداری نمونه‌های حاوی 50 و 10٪ مالتودکسترین به ترتیب 13/64 و 20/06٪ بود که حاکی از اثر قابل ملاحظه کاهش این شاخص در نتیجه افزایش غلظت مالتودکسترین داشت.

#### 3-7- میکروساختار پودرهای شیره خرما

در این آزمون، تیمارهای 70:30 و 50:50 حامل به شیره خرما



شکل (4) تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای شیره خرما تولید شده با افزودن مالتودکسترین به‌عنوان حامل. الف) نسبت مالتودکسترین به شیره 70:30، دمای 140°C. ب و ج) نسبت مالتودکسترین به شیره 50:50، دمای 140°C. د) نسبت مالتودکسترین به شیره 50:50، دمای 160°C.

خرما در دمای هوای 160°C و نسبت وزنی حامل به شیره 50:50 بهترین بازده تولید پودر و خواص فیزیکی شیمیایی را از خود نشان داد. از سوی دیگر، یافته‌های این تحقیق بیانگر این بودند که افزایش بیش از حد نسبت حامل به شیره و دمای هوای فرایند به دلیل اثرات سوء بر فرایند خشک کردن منجر به افت کیفی و کمی محصولات تولیدی می‌گردد. هم‌چنین، ساختار سطحی ذرات و نتایج میکروسکوپ الکترونی نیز بیانگر بهبود خواص سطحی و یکنواختی ذرات تحت تاثیر غلظت حامل و دمای هوای فرایند قرار گرفتند. در نهایت، دستیابی به محصولی با خواص فیزیکی شیمیایی و کاربردی مناسب در کنار اقتصادی بودن فرایند به در نظر گرفتن و حفظ شرایط بهینه خشک کردن (اعم از فرایند و خوراک) وابسته است.

بالا، ویسکوزیته پائین، فاقد طعم و بو و قیمت مناسب) به‌عنوان یک حامل مناسب برای تولید پودر ترکیباتی غنی از قند مانند شیره خرما کارآمد می‌باشد. اما با توجه به چسبندگی بسیار بالای شیره خرما، مقادیر بالایی حامل برای دستیابی به بازده تولید مناسب مورد نیاز بود. کلیه آزمون‌های مربوط به خواص فیزیکی شیمیایی (شامل رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه)، عملگرایی نظیر حلالیت و نم‌پذیری، قابلیت حفظ و پایداری مانند جاذب الرطوبگی و جریان‌پذیری (شاخص‌های تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز) به مقدار بالایی وابسته به شرایط فرایند (غلظت حامل و دمای هوای ورودی) بودند. در نهایت با در نظر گرفتن شاخص کارایی و اقتصادی بودن فرایند (بازده تولید محصول) و سایر خواص فیزیکی شیمیایی، فرایند خشک کردن پاششی شیره

## منابع

[2] Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., Al-Rawahy, F. (2007). Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chem.*, 104, 943-947.

[1] Farahnaky, A., Afshari-Jouybari, H. (2011). Physicochemical changes in Mazafati date fruits incubated in hot acetic acid for accelerated ripening to prevent diseases and decay. *Scientia Hort.*, 127, 313-317.

- [13] Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A. K., & Bhandari, B. R. (2007). Development of stickiness of whey protein isolate and lactose droplets during convective drying. *Chem. Eng. Process: Process Intens.*, 46, 420-428.
- [14] Bhandari, B. R., Patel, K. C., Chen, X. D. (2008). Spray drying of food materials—Process and product characteristics. *Dry Technol Food Process.*, 4, 113-157.
- [15] Truong, V., Bhandari, B. R., Howes, T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *J. Food Eng.*, 71, 55-65.
- [16] Santhalakshmy, S., Bosco, S.J.D., Francis, S., Saabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technol.*, 274, 37-43.
- [17] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2012). A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food Bioprod Process.*, 90, 639-652.
- [18] Quek, S.Y., Chok, N. K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem. Eng. Process: Process Intens.*, 46, 386-392.
- [19] Botrel, D.A., de Barros Fernandes, R.V., Borges, S.V., Yoshida, M.I. (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. *Food Res. Int.*, 62, 344-352.
- [20] Mobhammer, M.R., Stintzing, F.C., Carle, R. (2006). Evaluation of different methods for the production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 7, 275-287.
- [21] Wang, W., Zhou, W. (2015). Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline
- [3] Al-Shahib, W., Marshall, R. J. (2003). The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 54, 247-259.
- [4] Biglari, F., AlKarkhi, A.F., Easa, A.M. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food chem.*, 107, 1636-1641.
- [5] FAOSTAT (2012). Agro-statistics database. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [6] Kwaasi, A.A.A (2003). Date palms. In: Caballero, B., Finglas, P.M., Trugo, L. (Eds.), *Encyclo Food Sci Nutr.*, 2nd ed. Elsevier Science, London, pp 1730-1740.
- [7] Trigueros, L., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J. A., Sendra, E. (2012). Use of date (*Phoenix dactylifera* L.) blanching water for reconstituting milk powder: Yogurt manufacture. *Food Bioprod. Process.*, 90, 506-514.
- [8] Oliveira, W.P., Bott, R.F., Souza, C. R. (2006). Manufacture of standardized dried extracts from medicinal Brazilian plants. *Dry Technol.*, 24, 523-533.
- [9] Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Dry Technol.*, 26, 816-835.
- [10] Fang, Z., Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Re. Int.*, 48, 478-483.
- [11] Schuck, P., Dolivet, A., Méjean, S., Zhu, P., Blanchard, E., Jeantet, R. (2009). Drying by desorption: a tool to determine spray drying parameters. *J. Food Eng.*, 94, 199-204.
- [12] Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.*, 40, 1107-1121.

- E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 75, 27-35.
- [31] Muzaffar, K., Kumar, P. (2015). Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technol.*, 279, 179-184.
- [32] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod Process.*, 90, 667-675.
- [33] Tonon, R. V., Brabet, C., Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J. Food Eng.*, 88, 411-418.
- [34] Şahin-Nadeem, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., Özdemir, F. (2013). Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT-Food Sci Technol.*, 52, 31-38.
- [35] Papadakis, S. E., Gardeli, C., Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Dry Technol.*, 24, 173-180.
- [36] Bazarria, B., Kumar, P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bio.*, 14, 21-27.
- [37] De Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydr Polym.*, 101, 524-532.
- [38] Jayasundera, M., Adhikari, B., Howes, T., Aldred, P. (2011). Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: solubility, powder production and characterization. *Food Chem.*, 128, 1003-1016.
- carbohydrates to drying carrier. *Food Chem.*, 168, 417-422
- [22] پیغمبر دوست، س. ه.؛ سرابندی، خ. (1394) تأثیر شرایط خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکی شیمیایی، عملکردی و بازده تولید پودر عصاره مالت. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 25، شماره 2، ص 299-314.
- [23] Oberoi, D. P. S., Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *J. Food Eng.*, 165, 172-178.
- [24] Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technol.*, 264, 190-196.
- [25] Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B.P., Howes, T., Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *Int. J. Food Pro.*, 10, 661-673.
- [26] Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Dry Technol.*, 26, 714-725.
- [27] Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B. R., Rintoul, G. B. (1998). Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT-Food Sci Technol.*, 31, 138-142.
- [28] Jinapong, N., Suphantharika, M., Jammong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 84, 194-205.
- [29] Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innov Food Sci Emerg Technol.*, 6, 420-428.
- [30] Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.

- [39] Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Dry Technol.*, 18, 1943-1986.
- [40] Vidović, S. S., Vladić, J. Z., Vaštag, Ž. G., Zeković, Z. P., Popović, L. M. (2014). Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technol.*, 258, 209-215.
- [41] Bae, E. K., Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *J. Microencapsul.*, 25, 549-560.
- [42] سرابندی، خ؛ پیغمبر دوست، س.ه. (1394). تأثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی‌های جریان پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، شماره 1، ص 51-60.
- [43] Bhusari, S. N., Muzaffar, K., Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technol.*, 266, 354-364.
- [44] Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., Abud-Archila, M. (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Dry Technol.*, 23, 955-973.
- [45] Nijdam, J. J., Langrish, T. A. G. (2006). The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *J. Food Eng.*, 77, 919-925.
- [46] Wang, W., Jiang, Y., Zhou, W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *J. Food Eng.*, 119, 724-730.